

Царското вещество и социалните насекоми

Иван Иванов

Според представите на редица философи и визионери, в едно идеално общество не трябва да има завист, егоизъм, пошлост и корупция, бедни и богати, предпочетени и презрени. Идеалното общество трябва да се състои от равнопоставени, трудолюбиви индивиди, живеещи в мир и

разбирателство, където всеки изпълнява задълженията си по съвест и е готов да пожертва живота си за останалите. За „разумния човек“ (*Homo sapiens*) това е мечта, дори химера, но в природата такива общества има. Това са обществата на социалните насекоми. На тяхното съвършенство *Homo sapiens* с

За феромоните, наричани в зората на откриването им „Царско вещество“ е писано много. Въпреки че са открити отдавна, интересът към тях не стихва и до днес. Те са важен клас биологичноактивни съединения, с помощта на които индивидите от един и същи биологичен вид се разпознават в размножителния период и си обменят ценна информация, свързана с хранителни източници, надвиснала опасност, миграции и съществуването на популацията изобщо. В тази статия ще разгледаме ролята на някои феромоноподобни вещества в организацията на съобществата на социалните насекоми.

основание може да завиди и от тях има какво да научи. Животът на пчелите, мравките и термитите отдавна е привличал любопитството както на обикновения човек, така и на изследователите. Поколения учени са разгръщали страница след страница от техния загадъчен свят и са се

възхищавали на тяхното съвършенство.

В много отношения поведението на обществените насекоми наподобява разумна човешка дейност. Те безупречно изграждат и поддържат своя дом и разпределят по най-рационален начин задълженията помежду си. При тях съществува специализация и разделение на труда,



Академик Иван Иванов е възпитаник на СУ „Св. Кл. Охридски“, специалност „Химия на природните вещества“. След редовна докторантура по биохимия, се насочва към молекулярната биология – област, в която разгръща цялата си професионална кариера. Автор е на повече от 200 научни статии, цитирани повече от 3000 пъти, както и на редица монографии, учебни пособия, научно-популярни статии и книги. Основава лаборатория по Генен синтез и секция по Регулация на генната активност в Института по молекулярна биология при БАН (ИМБ), която ръководи повече от 30 години.

както и точен синхрон при изпълнение на отделните видове задачи (строителни и ремонтни работи, събиране на храна, грижи за потомството, охрана и почистване на жилището и др.). И тъй като човек е склонен да търси разум във всичко по-различно от хаоса, дълги години хората са гледали на обществените насекоми като на разумни същества. Днес обаче е известно, че да се говори за разум при тях е наивно и неточно. Разумът изисква сложна нервна система и висока организация на мозъка, каквато у пчелите, мравките и термитите липсва. Техните ганглии (аналог на мозък) не са по-различни от тези на обществените насекоми. Нещо повече, при пчелите, които наброяват около 20 000 вида,

обществените видове са само 10%, а тяхната нервна система с нищо не превъзхожда тази на обществените пчели. Ако изобщо имаме право да говорим за връзка интелект – нервна система и начин на живот, първото място по интелигентност се пада на мравките. В главата на повечето насекоми има два нервни ганглия (преден и заден), от които единият (предният) функционира като мозък, а другият (задният) управлява частите на устата. При мравките двата ганглия са обединени в един окрупнен орган и при тях общественият начин на живот е най-добре изразен. Докато при пчелите и осите обществената организация на живот е частен случай, имайки предвид огромния брой обществените видове, то за мравките това е единствената форма на съществуване. Според повечето ентомолози, мравките са насекомите, които най-лесно се поддават на гресировка. Въпреки всичко, тук нямаме право да говорим за разум. Всички дейности, присъщи на обществените насекоми, се извършват инстинктивно, по силата на готова, генетично заложена програма. А инстинктът, както пише Жан-Анри Фабр (*Jean-Henri Fabre*), е непогрешим само в областта, която му е отредена. Извън нея той е безсилен.

Благодарение на инстинктите насекомите безупречно изпълняват своите задължения, но инстинктът не е достатъчен за осигуряване на живота на съобществото като цяло. За да съществува и функционира нормално един кошер, мравуняк или термитник е необходимо дейностите на всеки от неговите обитатели да се координират. Необходим е механизъм, който да включва и изключва слепите инстинкти и да синхронизира дейността на всеки член на семейството в полза на обществото, т.е. необхо-



Медоносна пчела (*Apis mellifera*): видове пчели (касти) в пчелното семейство

гимо е нещо, което да накара индивидите да се почувстват част от общия колектив, равностоен на организъм. Дълго време тази тайнствена сила, сплотяваща хиляди неразумни същества в един здрав и разумен колектив, чиято дейност по сложност е съизмерима с човешкия разум, оставаше загадка за учените.

Описвайки живота на пчелите, М. Метерлинк (Maurice Maeterlinck) през 1901 г. говори за „неуловимите обществени сили“, които направляват дейността на пчелната колония. Той пише: *„Къде е този дух на кошера, който се разпорежда с богатството и частieto, със свободата и живота на всяко крилато същество в него?“* По-късно става ясно, че този „дух“ има материален израз и представлява сложна смес от химични съединения, отделяни от екзокринните жлези на насекомите. Всъщност – това са познатите ни феромони. За да илюстрираме тяхното значение за живота на обществените насекоми, ще вземем за пример колонии на медоносната пчела, които са най-добре изучени.

От незапомнени времена медоносната пчела *Apis mellifera* е домашно животно за човека. Тя дава мед, восък, прополис (пчелен клей), пчелна отрова и опрашва плодните дървета. В диво състояние вече почти не се среща. Едно нормално

развито пчелно семейство се състои от около 60 000 пчели и в неговия състав влизат една пчела майка (царица), 100 – 200 мъжки пчели (търтеи) и пчели работнички. Въпреки че както майката, така и работничките са женски, то единствената напълно развита женска пчела е царицата. Нейното основно задължение е да снася по 1500 – 3000 яйца на ден. Всички останали дейнос-

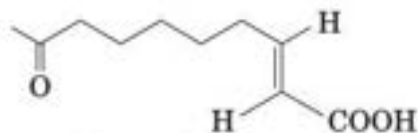
ти в кошера – изграждане на восъчните пити, грижи за яйцата и отглеждане на пилото, поддържане на хигиена и постоянна температура, събиране на нектар и цветен прашец, охрана на кошера и пр., се извършват от работничките. Най-малкото задължение имат търтеите. То се свежда до оплождане на майката, което се осъществява еднократно в нейния живот от един от тях. Времето за излюпване на трите вида пчели е различно. Работничките се излюпват след 21 дни, търтеите след 18, а царицата след 16 дни.

Веднага след излюпването си пчелата работничка се включва в живота на кошера. Първоначално тя е санитарка, след това „кърмачка“, грижейки се за изхранването на пилото, после е строител, участвайки в ремонта на старите и изграждането на нови восъчни пити, после е охранител, давайки „караул“ на „контролно-пропускателния пункт“ (прелката) и пр. Едва след 20-ия ден от излюпването си тя напуска кошера и излиза на паша. Очевидно, пчелата се ражда с готови способности, които са генетично заложили в нейната жизнена програма. Но откъде знае кога трябва да премине от една длъжност на друга или с други думи, кой превключва нейните генетични програми?

Отговорът на тези въпроси е даден от две големи лаборатории, едната в Англия, а другата във Франция, които едновременно и независимо една от друга изолират от мандибуларните жлези на пчели майки едно изключително важно химично съединение, идентифицирано като 9-кето 2-транс-деценова киселина. Именно то е наречено „царско вещество“. Изследванията показват, че това вещество е магнитът, който задържа пчелите работнички в кошера, то е магическата пръчица, с която майката въдворява ред и създава спокойствие в своето голямо семейство. Царското вещество е подобно на феромон, но за разлика от типичните феромони се характеризира с извънредно широк спектър на действие. Част от него се разпространява в кошера по въздушен път и подобно на половите феромони се възприема чрез антените. То има и силно привличащо действие, подтиквайки пчелите към скупчване около царицата и близане. Естествено, не всички пчели могат да се доберат до първоизточника на веществото (царицата), но пък те са в непрекъснат контакт помежду си и могат да предават царско вещество от пчела на пчела чрез водата, нектара и прашеца, които си предават от уста в уста. Това явление се нарича *трофалаксис*. Отначало този начин на разпространение е бил хипотетичен, но впоследствие е доказан експериментално чрез метода на белязаните атоми. За целта на няколко пчели било дадено белязано с радиоактивни изотопи царско вещество и само след няколко часа то вече било открито у почти всички пчели в кошера. Също с помощта на радиоактивни изотопи е доказано, че царското вещество метаболизира сравнително бързо. След няколко часа то се превръща в 9-хидроксидеканова и

9-хидроксидециленова киселина. Бързият метаболизъм и разпространяването на царското вещество чрез храната изисква то да се произвежда в достатъчно количество. Доказано е, че за нормалната работа на един средно голям кошер царицата е длъжна да произвежда по 0.1 мг царско вещество дневно.

Царското вещество може да се оприличи с транквилант, който успокоява нервната система на пчелите и създава условия за нормална работа в кошера. Но то наподобява и наркотик, към който пчелите се пристрастяват. Без царско вещество те стават неспокойни, възбуждени, безцелно обикалят из кошера, жужат и трептят с крила. Тази картина се наблюдава винаги при отстраняване на майката. Поради бързия метаболизъм на царското вещество, само 2 – 3 часа след отделянето на майката от кошера, целият кошер вече „знае“, че царицата я няма. Царското вещество потиска и редица инстинкти и физиологични функции у пчелите работнички. Преди всичко то потиска инстинктите за залагане на маточници (от които се излюпват нови майки) и за хранене на царските личинки. С отстраняване на майката тези инстинкти се „освобождават“ и кошерът започва да подготвя коронясването на нова царица. Установено е, че царското вещество изпълнява функциите и на полов феромон, но то действа и като антихормон, който потиска функциите



Царското вещество на *Apis mellifera* (9-кето 2-транс-деценова киселина)

на половата система на пчелите работнички. Казахме вече, че те също са женски и имат потенциала да снасят яйца, но в присъствието на царица това е невъзможно. Царското вещество напълно потиска тази тяхна способност.

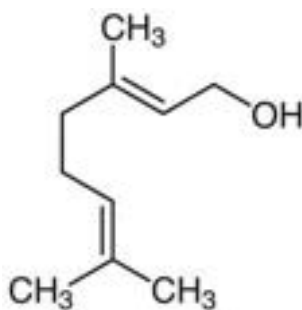
Ако кошерът остане без майка (поради смърт или експериментално отстраняване), работничките произвеждат нова царица. Освободени от потискащото действие на царското вещество, гениталиите на една или повече пчели работнички бързо се развиват и те започват да снасят яйца. Но тъй като техните яйца са неоплодени, от тях се излюпват само търтеи, които изяждат меда и унищожават кошера.

Достатъчната секреция на царското вещество от пчелата майка е сигурен белег за нейното добро здраве и способност да изпълнява функциите си на царица. При заболяване или старост производството на царско вещество намалява и кошерът изпитва абстиненция. Тогава пчелите са принудени да произведат нова майка. Някои автори допускат, че в царското вещество се крие и пусковият механизъм за роенето на пчелите. Това става обикновено в края на пролетта, когато през май – юни броят на пчелите рязко нараства.

Въпреки наличието на здрава майка, пчелите започват да изпитват глад за царско вещество и залагат нови маточници. След излюпване на новата царица двете не влизат в конфликт, а старата заедно с 20 000 – 30 000 пчели напуска кошера и отстъпва мястото си на по-младата царица. Но кой брой пчелите и кой решава, че кошерът е вече пренаселен? Счита се, че при нарастване на семейството до 80 000 – 90 000 пчели, царското вещество вече не достига за задоволяване нуждите на всички пчели работнички и по-отдалечените от гнездото не усещат присъствието на майката, т.е. започват да се чувстват сираци.

Изследванията върху връзката структура – функция на царското вещество показват, че неговият химичен строеж е уникален за проява на биологичната му активност. Опитите да се удължи или скъси въглеродната верига, да се замени транс-изомерът с цис- или да се промени мястото на карбонилната група в молекулата са водели до пълна загуба на активност. Трябва да се знае и това, че химичният строеж на царското вещество е специфичен за дадения биологичен вид. Така например царското вещество на осата *Vespa orientalis* е лактон на 5-хидроксихекадекановата киселина.

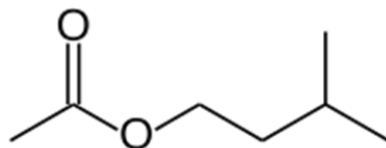
Феромони отделят не само цариците, но и работничките. Всяка от тях носи на края на коремчето си малко „флаконче с парфюм“. Това е жлеза с външна секреция, наречена „насонова“, на името на руския зоолог В. Насонов, която лесно може да се види като бледо жълто петънце у патрулиращите на прелката пчели. Тя секретира ароматни вещества, които изпълняват



Apis mellifera: Насонова жлеза (жълтото петно) и секретирания от нея феромон на следата – гераниол

функциите на документ за самоличност, срещу който пчелите работнички биват допускани в кошера. По насонения секрет чужденката лесно бива откривана и изпъждана от кошера. Този аромат е строго специфичен за пчелното семейство. По него се ориентира и царицата майка при завръщането си от брачен полет и с него пчелите разпознават бележат откритите хранителни източници. Основната съставка на насония секрет е гераниолът. Той е терпенов алкохол, който се съдържа в розовото и много други етерични масла. Освен него секретът на насоната жлеза съдържа и групи терпенови съединения, като цитрал, неролова киселина, гераниева киселина и др.

През 1814 г. Г. Хюбнер забелязвал, че ако човек бъде ужил от една пчела, вероятността да го нападне втора е по-голяма, отколкото ако не е жilen изобщо. Той забелязал също, че ужиленото място има плодова миризма, наподобяваща аромата на банан. Тайната на този ароматичен „печат“ е изяснена много по-късно. Установено е, че това е изоамилов ацетат, известен още като изо-пентил ацетат, който пък е продукт на друга феромонна жлеза, непосредствено свързана с жилото на пчелата. Нейното предназначение е да бележи неприятелите и да ги посочва на останалите пчели като обект за нападение. Тъй като всяка следваща пчела заедно с жилото си оставя и своя ароматичен автограф, концентрацията на изо-пентил ацетат расте, а с това нараства и агресивността на пчелите. Експериментално е показано, че филтърна хартия или парче текстилна тъкан, напоени с изопентил ацетат, биват яростно нападани и жилени от пчелите. Може би в това се крие обяснението на един отгавна наблюдаван факт, а имен-

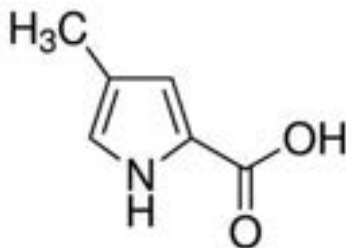


Apis mellifera: феромонът за тревога изоамилов (изопентил) ацетат

но, че пчелите не обичат пияните пчелари. Към тях те са по-агресивни. Причината е, че спиртните напитки (вино, ракия, коняк и др.) наред с много други естери с плодова миризма съдържат и изопентил ацетат. Счита се, че този естер е предназначен за маркиране само на едри неприятели, в които пчелата оставя своето жило. При ужилване на насекоми, жилото се връща обратно и тогава изопентил ацетат не се отделя. Малките неприятели се бележат с груз феромон (2-хептанон).

Отгавна е известно, че димът намалява агресията на пчелите, поради което пушилката е задължителен атрибут на пчеларя. Причината за това не е добре известна, но има две хипотези. Според едната, димът се възприема като сигнал за тревога, вероятно поради това, че се свързва с природното бедствие пожар, което стимулира пчелите да пълнят коремчетата си с мед и да се подготвят за евакуация, а пълното коремче затруднява жilenето. Според втората, някои от съставките на дима се свързват с рецепторите за изопентил ацетат разположени върху антените на пчелата, които по този начин стават нечувствителни към феромоните за тревога.

Въпреки че дотук разгледахме ролята на феромоните за живота само на медоносната пчела, тяхното значение е не по-малко важно за живота и на останалите обществени насекоми. И при осите, мравките, термитите единството и сплотеността на семейството се



Atta texana (мравка листорез): феромон на следата метилов естер на 4-метилпирол-2-карбоксилната киселина

дължи на феромони, отделени от царицата и разпространявани сред членовете на колонията чрез трофалаксис.

С помощта на феромони нелетящите насекоми бележат пътя до хранителните източници. Те се наричат *феромони на следата*. Така например американските огнени мравки *Solenopsis saevissima* след като открият храна оставят по пътя към мравуняка ароматна следа, докосвайки с жилото си земята на равни разстояния от няколко сантиметра. Всяка мравка работничка, попаднала на такава следа, тръгва по нея и бързо намира хранителния източник. В обратната посока тя също маркира пътя, с което засилва миризмата и привлича нови мравки към находището. Когато хранителният източник обеднее и мравките започнат да се връщат без храна, те не оставят нова следа, а старата бързо се разсейва и само след няколко минути напълно изчезва. По този начин мравките автоматично определят работната сила, която е необходима за пренасяне на храната до мравуняка в зависимост от нейното количество.

Установено е, че ароматната следа не е просто коридор, който свързва мравуняка с хранителния източник. Тя има и посока. Това е доказано по следния начин: на пътя между мравуняка и храната е поставен лист хартия, който мравки-

те също бележат като част от пътя. При завъртане на хартията на 180°, мравките започват да се суетят. Част от тях достигат до края на листа и се връщат обратно, а други сноват върху него, докато открият продължението на следата и едва тогава продължават. Счита се също, че концентрацията на ароматичните вещества нараства в посока от мравуняка към хранителния източник, което не е лишено от смисъл. Засилването на миризмата е стимул за мравките да се гвижат по-бързо към целта. Възможно е освен посока, невидимата следа да има по-сложна структура и да носи много повече информация, отколкото можем да си представим. Забелязано е например, че по пътя към мравуняка мравките минават през една и съща точка от следата. Тези от тях, които случайно са се отклонявали, дълго се лутат, преди да намерят правия път.

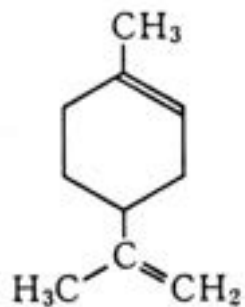
За да изпълнят своето предназначение, феромоните на следата трябва да отговарят на две задължителни условия – да са летливи и да се разсейват сравнително бързо. Показано е, че екстракти от червената мравка *Formica rufa* запазват активността си до 3 години при 4°C, а при 25°C са активни само няколко часа. При мравките листорез (*Atta texana*) феромонът на следата е метилов естер

на 4-метилпирол-2-карбоксилната киселина, при термита *Zootermopsis nevadensis* той е капронова киселина, а при *Kaloterme flavicollis* – цис-хексен-3-ол.

Всички обществени насекоми разполагат със сигурни индивидуални средства за защита и борба с неприятелите, но тяхното оръжие е значително по-ефективно, когато усилията им се обединени. Обединяване на силите се налага и при случайно възникнали бедствени ситуации, като пожар, наводнение, разрушаване на жилището и пр. Мобилизирането на съпроводителните сили на семейството се постига единствено чрез феромоните. Това са така наречените *феромони за тревога* или *алармени феромони*. Тяхната поява във въздуха е сигнал за опасност и води до внезапна смяна на жизнената програма. Насекомите оставят преките си занимания и преминават в бойна готовност. Когато в мравуняка или близко до него някоя от патрулиращите мравки забележи нещо обезпокоително, тя отделя алармен феромон и дава сигнал за тревога. Феромонът се разпространява на разстояние 6 – 10 см и бързо довежда мравките от тази зона във възбудено състояние. Ако и те оценят ситуацията като тревожна, те също отделят феромон за тревога, с което концентрацията му във въздуха нараства, а с това се разширява и периметърът на активната зона. Така сигналът за тревога се разпространява като верижна реакция и само за няколко секунди обхваща целия мравуняк. Ако обаче тревогата е била фалшива, близкостоящите мравки не я потвърждават, миризмата на първоначално отделените феромони се разсейва и сигналът бързо затихва.

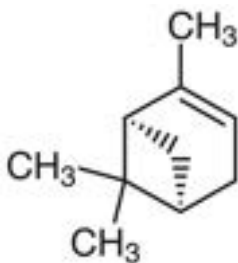


Австралийският термит *Drepanotermes rubriceps* и неговия феромон за тревога D-лимонен



Мравките притежават две жлези, секретирани феромони за тревога – мандибуларни (в устата) и жлезата на Дюфур, която се намира в коремчето. Мандибуларните жлези произвеждат терпенови съединения (цитронелол, цитронелал, норцитронелал, гераниал и др.), а жлезата на Дюфур – парафинови въглеводороди и метилкетони. При сигнал за тревога се активират и двете жлези, което води до образуването на сложна смес от летливи органични съединения. В алармения сигнал на червената горска мравка например, са открити 46 такива съединения. Многокомпонентният характер на сигнала позволява количествения му състав да се променя в широки граници в зависимост от ситуацията, което дава възможност на насекомите да съобщават допълнителна информация относно опасностите. Може би те предават сведения за характера на бедствието, размера на нанесените щети, информация за неприятеля и др.

При различните насекоми феромоните за тревога имат различна химична природа. Както вече беше отбелязано, при медоносната пчела аларменият феромон е изопентил ацетат. При термитите и мравките тази функция се изпълнява от смес от терпенови съединения. При австралийските термити



Nasutitermes exitiosus и неговия феромон за тревога α -пинен

Drepanotermes rubriceps и *Drepanotermes perniger* това е D-лимонен, при *Amitermes meridionalis* – α -терпинолен, а при *Nasutitermes exitiosus* – α -пинен. Тук трябва да отбележим, че докато терпеновите съединения и по-специално лимоненът, както и α -пиненът са полови или агрегационни феромони, за някои гървоядни бръмбари и за термитите те са сигнал за тревога. Това илюстрира сложните химични взаимоотношения между живите организми в природата, както и непрегсказуемата връзка между химичната структура и физиологичното действие на веществата чрез които животните си общуват.

Никъде в животинското царство генеалогичната връзка между феромоните и хормоните не е така добре изразена както при обществените насекоми. Тук феромоните на цариците имат не само привличащ ефект, но влияят и върху онтогенетичното развитие на насекомите. Ето защо някои автори предпочитат да ги наричат *социални хормони*. Съобществата на обществените насекоми не са просто колонии от съвместно живеещи индивиди, а са на-

дорганизмови образувания, извън които членовете им не могат да съществуват. По този повод нобеловият лауреат Карл фон Фриш (Karl Ritter von Frisch) казва: „Селянинът може да има една крава, едно куче, една кокошка, но

не и една пчела. Извън кошера тя загибва.“

Колониите на обществените насекоми наподобяват многоклетъчен организъм, чиито клетки се отъждествяват с отделните насекоми. Както единичната клетка не може да съществува самостоятелно извън многоклетъчния организъм, така и общественото живеещите индивиди загибват извън колектива. Клетките на многоклетъчния организъм са диференцирани и тясно специализирани в изпълнение на определени функции. В рамките на колонията обществените насекоми са също диференцирани и специализирани в извършването на различни видове дейности. В многоклетъчния организъм връзката между клетките се осъществява чрез нервната система, хормоните и групи химични медиатори, а в съобществата на насекомите – чрез феромоните. Тук феромоните са аналог на хормоните, но от по-висш порядък. Царицата в семейството на насекомите може да се оприличи с хипофизата при висшите животни, която секретира главните хормони, управляващи дейността на всички останали жлези с вътрешна секреция. ■

Черупка на охлюв е най-старият духов музикален инструмент



Реконструкция на художника Жил Тосело (Gilles Tosello) за използването на открития духов инструмент

През февруари 2021 г. научното списание Science Daily съобщи любопитната новина, че екип от френски учени са открили най-древния духов музикален инструмент, използван от праисторически човек. Откритието е направено в сравнително малка пиренейска пещера – La Grotte Marsoulas в Югозападна Франция. Тя е дълга само около 100 м., но е известна с множеството находки от преди около 17 – 12 000 години, когато е обитавана и от човека. Известна е и с множеството рисунки и скални изображения на животни – бизони, коне, елени и др., рисувани от древните ловци.

Находката, която се счита за най-древния духов музикален инструмент, изготвен и използван от праисторически човек, е черупка на един сравнително едър морски охлюв от вида *Charonia lampas*, който обитава и понастоящем главно топлите и умерени морета в Индотихоокеанския басейн. По-рядко се среща и в топлите райони на Атлантическия океан. Досега са известни 7 – 8 вида от рода Харониа, някои от които и

като фосили. Черупки на различни видове от рода се продават и днес като декоративни сувенири в топлите крайморски страни. Те достигат обикновено до около 30 см., но са намирани и екземпляри до 50 см. дължина, т. е. почти колкото дължината на един тромпет!

Според авторите на откритието, които са от различни френски музеи, черупката е с отрязана върхна част, където е направен специален отвор с диаметър около 3.5 см. за устните на древния музикант. А на противоположния широк край има пробит по-малък отвор, вероятно за пръстите на човека. Черупката била външно оцветена с глина съдържаща хематит, каквато била използвана и за оцветяване на някои от скалните рисунки в пещерата. По-детайлни изследвания чрез томографско сканиране доказали, че този отвор не е резултат на случайно счупване, а е направен с точно определена форма за по-плътното прилягане към устните на човека.

Датирането чрез използването на Въглерод-14, както на черупката и нейното покритие, така и на намерени в близост кости от мечка показало, че те са на възраст от преди около 18 000 години. Това е дало основание на авторите да направят и извода, че намерената обработена черупка в пещерата Марсула е най-старият използван от човека духов музикален инструмент, открит досега в света. Според авторите то доказва още и връзките, които вероятно древните обитатели на тази пиренейска пещера са имали с Атлантическото крайбрежие, от което е доставена черупката на *Charonia lampas*.

По Science Daily и Science Advances